

TRACKING ERROR DETECTING DEVICE

Publication number: JP10173978

Publication date: 1998-06-26

Inventor: MATSUSHITA TADASHI

Applicant: MITSUBISHI ELECTRIC CORP

Classification:

- International: G01B11/00; G01J1/44; G02B7/198; G02B23/00; H04N5/232; G02B7/198; G02B23/00; G01B11/00; G01J1/44; G02B7/198; G02B23/00; H04N5/232; G02B7/198; G02B23/00; (IPC1-7): G02B7/198; G02B23/00; H04N5/232; G01B11/00; G01J1/44

- European:

Application number: JP19960333849 19961213

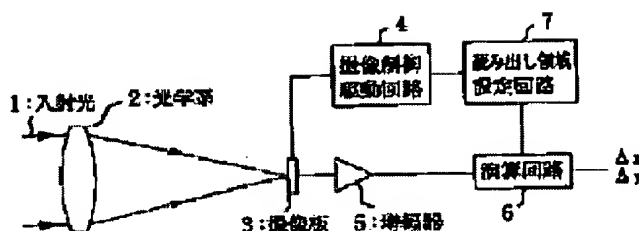
Priority number(s): JP19960333849 19961213

Report a data error here

Abstract of JP10173978

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a wide visual field and a tracking error signal with good response and high precision by performing specific operation on the basis of an electric quantity read out of an image pickup element and setting an area where the electric quantity is read out on the basis of position information and size information of a target image on an image pickup plate.

SOLUTION: This device has the same constitution as before except a readout area setting circuit 7. An arithmetic circuit 6 outputs the position information and size information of the target image on the image pickup plate. According to the output information, the area setting circuit 7 sets an area which has arms radius (a) and is, for example, four times in size around the gravity center position (Xc, Yc) in consideration of the movement quantity of a tracking target or the shape, light quantity distribution, etc., of the target image as a readout area. Noise components that the read electric quantity contains can be made small and the read time can be shortened by horizontally transferring only the readout area at a low speed. When the read electric quantity is less than a threshold value, the target image area is divided into four quadratures and the target is traced by a light quantity center method.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-173978

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月26日

(51) Int.Cl.⁹

識別記号

F I

H 0 4 N 5/232

H 0 4 N 5/232

C

G 0 1 B 11/00

C 0 1 B 11/00

E

G 0 1 J 1/44

G 0 1 J 1/44

P

// G 0 2 B 7/198

G 0 2 B 23/00

23/00

7/18

B

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号

特願平8-333849

(22) 出願日

平成8年(1996)12月13日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 松下 匡

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

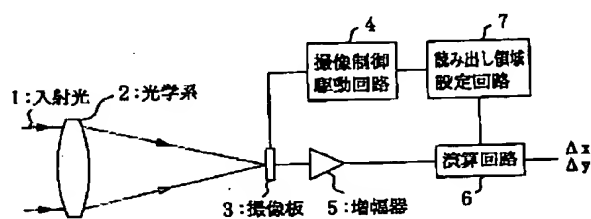
(74) 代理人 弁理士 宮田 金雄 (外2名)

(54) 【発明の名称】 追尾誤差検出装置

(57) 【要約】

【課題】 天体望遠鏡等の追尾システムの追尾制御系を構成する、光学的追尾誤差検出装置において、高い分解能で、広い視野にわたって目標物を追尾出来ると同時に、精度の良い追尾誤差信号を応答性良く出力出来るようにすること。

【解決手段】 撮像素子より読み出された電気量を基に、所定の演算を行うことにより、上記目標物像の撮像板上の位置情報と寸法情報を出力する演算回路と、その演算回路の出力情報に基づき、電気量を読み出す領域を設定する読み出し領域設定回路とを備えた。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 目標物からの入射光を集光する光学系と、
上記光学系により、上記目標物の像を結像する焦点位置に配置され、上記目標物像が有する光量を電気量に変換して蓄積する複数の撮像素子を、2次元格子状平面に配列した撮像板と、
上記撮像素子に蓄積された電気量を上記配列に従って順次読み出す撮像制御駆動回路と、
上記読み出された電気量を基に、所定の演算を行うことにより、上記目標物像の撮像板上の位置情報と寸法情報を出力する演算回路と、
上記演算回路の出力情報に基づき、上記撮像制御駆動回路に対し、上記電気量を読み出す領域を設定する読み出し領域設定回路とを備えたことを特徴とする追尾誤差検出装置。

【請求項2】 撮像制御駆動回路が撮像板の複数の撮像素子に蓄積された電気量を読み出す際、垂直方向あるいは水平方向に隣接した複数の撮像素子を結合して、一つの撮像素子として動作させることを特徴とする請求項1に記載の追尾誤差検出装置。

【請求項3】 演算出力する目標物像の位置情報は、撮像板上の目標物像領域内の各撮像素子に蓄積した電気量を加重量とした重心位置を演算することにより求められることを特徴とする請求項1または請求項2のいずれかに記載の追尾誤差検出装置。

【請求項4】 演算出力する目標物像の位置情報は、撮像板上の目標物像領域を4象限に分割し、分割された各領域に存在する撮像素子に蓄積した電気量の総和を求め、その求められた各電気量の総和の変動量に、目標物像の光強度分布に依存する感度係数を乗じて得られる光量中心位置を演算することにより求められることを特徴とする請求項1または請求項2のいずれかに記載の追尾誤差検出装置。

【請求項5】 演算出力する目標物像の位置情報は、撮像素子の電気量が所定値以上の場合、撮像板上の目標物像領域内の各撮像素子に蓄積した電気量を加重量とした重心位置を演算することにより求め、撮像素子の電気量が所定値未満の場合、撮像板上の目標物像領域を4象限に分割し、分割された各領域に存在する撮像素子に蓄積した電気量の総和を求め、その求められた各電気量の総和の変動量に、目標物像の光強度分布に依存する感度係数を乗じて得られる光量中心位置の演算を行うことにより求められることを特徴とする請求項1または請求項2のいずれかに記載の追尾誤差検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、星や移動体等の

目標物を追尾する、天体望遠鏡等の追尾システムの追尾制御系を構成する、光学的追尾誤差検出装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の光学望遠鏡システムでは、光学望遠鏡の主光路に光学的分岐手段を設け、観測光量の一部を追尾制御系に供給し、観測目標物あるいは観測目標物を追尾する際のガイドとなる目標物の時間的変位を検出し、この変位出力信号を光学望遠鏡システムの追尾制御系の他の構成要素である制御駆動装置に入力して、この時間的変位を打ち消すように光学望遠鏡の主光路方向をフィードバック制御・駆動することにより、各種変位要因に対し、目標物を安定的に追尾して、所要の観測時間、連続的に天体観測できる必要がある。

【0003】目標物の変位は、目標物の天球上の移動、望遠鏡の設置されている地球自身の公転及び自転、光路となる大気層の屈折率の変化（ゆらぎ）や塵埃による散乱、あるいは、風や温度変化等の力学的ストレスが望遠鏡システムに加わることによって生じる、望遠鏡システム内の光軸の傾き（指向ずれ）等複数の要因から発生するものである。また、各変位要因は、それぞれ、種々の周波数成分や変位幅を持つものであり、追尾制御系の性能の向上のためには、追尾誤差検出装置の追尾誤差出力の精度と応答性の改善が必須である。

【0004】図4は従来の追尾誤差検出装置の構成するブロック図であり、図において、1は追尾対象である目標物からの入射光で、目標物が恒星の場合は平行光線となる。2は目標物からの入射光1を集光する光学系、3は光学系2の焦点位置で目標物を結像する撮像板で、微小な光電変換・電気量蓄積素子（以下CCD画素という）を画素として、多数、平面上に、規則的に配列し、CCD画素に蓄積された電気量をCCD画素単位で後続の電気回路に転送する。4は撮像板3の各CCD画素に蓄積された電気量をCCD画素単位で後続の電気回路に転送（読み出し・読み捨て）することを制御する撮像制御駆動回路である。5は撮像板3より読み出された電気量を後続の回路が必要とするレベル等に整合させる増幅器、6は増幅器5より入力された電気量を使って、目標物像を識別した後、目標物の撮像板3上の位置あるいは位置の変化を所定の演算を行って検出する演算回路である。演算回路6は図示しないが、サンプルホールド回路、アナログ／デジタル変換回路、記憶回路、演算処理回路等をその内部構成とする。

【0005】次に、動作について説明する。目標物からの入射光1は、光学系2によって撮像板3上に結像する。この際、目標物を観測する視野と分解能を確保し、目標物の明るさに対し追尾誤差の検出に必要な光量を得るよう光学系2の焦点距離が設定・調節されている。撮像制御駆動回路4の制御、駆動動作により、撮像板3を構成する各CCD画素に蓄積された電気量を、撮像板3

全体にわたって、所定の順序で、規則的に読み出される。また、CCD画素に蓄積された電気量は読み出されると同時に初期化され、次の結像を可能とする。撮像制御駆動回路4は、撮像板3の画面全体に対する、この読み出し動作を一定周期で繰り返す。

【0006】増幅器5は、各CCD画素から読み出された電気量をリニア（電気量関係を保存した状態で）に増幅し、演算回路6がこの電気量を受信入力できるように整合動作を行う。演算回路6では、この電気量をサンプルホールドした後、アナログ／デジタル変換して、1画面分の画像情報をデジタル量として記憶回路に格納する。なお、増幅器5を備えることや、演算回路6の内部構成は単なる例示である。

【0007】次に、演算回路6では、記憶回路に格納された画像情報（目標物の結像部分の電気量情報）を使って、目標物像を識別した後、所定の演算を行って、目標物像の重心を求め、その重心位置の前の演算時からの変位を、演算回路6の出力信号として、望遠鏡システムの追尾制御系の制御駆動装置に入力して、所定の光学望遠鏡システムの追尾制御に供される。

【0008】なお、目標物が恒星の場合においても、目標物像は点（＝面積ゼロ）とはならず、光路となる大気層におけるゆらぎ、散乱および光学系2の特性により、面積を持った像が、撮像板3上に結像する。このため、目標物の位置を確定するために、目標物像の重心位置を演算する必要が出てくる。

【0009】追尾誤差検出装置においては、一般に、多様な目標物を観測するために、視野の広さと空間分解能（精度）の高さを必要とする。視野の広さは、光学系2の焦点距離の長さに反比例し、撮像板3の大きさに比例する。一方、分解能の高さは、光学系2の焦点距離に比例し、CCD画素寸法の細かさに比例する。このため、高い分解能で、広い視野にわたって目標物を観測するには、長焦点の光学系2と多画素・広面積の撮像板3を備えることが必要になる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】従来の追尾誤差検出装置は以上のように構成されているので、高い分解能で、広い視野にわたって目標物を観測するには、多画素・広面積の撮像板3を備えなければならない、1画面分の画像情報である目標物像の電気量を読み出すのに多くの時間を必要とし、そのため、演算回路6が重心演算して、目標物の変位を出力する周期が長くなり、曳いては、この出力を追尾制御用の追尾誤差信号とする望遠鏡システム等の追尾動作の応答速度が遅くなるという問題点があった。

【0011】また、この応答性改善のため撮像板3上の各CCD画素の電気量の読み出しを高速にすると、CCD画素読み出し雑音が、読み出し時間に反比例して増大するため、高精度の追尾誤差（目標物の変位）を得られ

ないという問題点があった。

【0012】この発明は、上記のような問題点を解消するためになされたもので、目標物の捕捉に必要な広い視野を確保すると同時に、精度の良い追尾誤差信号（目標物の変位情報）を高い応答性で出力できる追尾誤差検出装置を得ることを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】第1の発明に係わる追尾誤差検出装置は、目標物からの入射光を集光する光学系と、上記光学系により、上記目標物の像を結像する焦点位置に配置され、上記目標物像が有する光量を電気量に変換して蓄積する複数の撮像素子を、2次元格子状平面に配列した撮像板と、上記撮像素子に蓄積された電気量を上記配列に従って順次読み出す撮像制御駆動回路と、上記読み出された電気量を基に、所定の演算を行うことにより、上記目標物像の撮像板上の位置情報と寸法情報を出力する演算回路と、上記演算回路の出力情報に基づき、上記撮像制御駆動回路に対し、上記電気量を読み出す領域を設定する読み出し領域設定回路とを備えたものである。

【0014】第2の発明に係わる追尾誤差検出装置は、第1の発明において、撮像制御駆動回路が撮像板の複数の撮像素子に蓄積された電気量を読み出す際、垂直方向あるいは水平方向に隣接した複数の撮像素子を結合して、一つの撮像素子として動作させるものである。

【0015】第3の発明に係わる追尾誤差検出回路は、第1または第2の発明において、演算出力する目標物像の位置情報を、撮像板上の目標物像領域内の各撮像素子に蓄積した電気量を加重量とした重心位置を演算することにより求めるものである。

【0016】第4の発明に係わる追尾誤差検出回路は、第1または第2の発明において、演算出力する目標物像の位置情報を、撮像板上の目標物像領域を4象限に分割し、分割された各領域に存在する撮像素子に蓄積した電気量の総和を求め、その求められた各電気量の総和の変動量に、目標物像の光強度分布に依存する感度係数を乗じて得られる光量中心位置を演算することにより求めるものである。

【0017】第5の発明に係わる追尾誤差検出回路は、第1または第2の発明において、演算出力する目標物像の位置情報を、撮像素子の電気量が所定値以上の場合は、撮像板上の目標物像領域内の各撮像素子に蓄積した電気量を加重量とした重心位置を演算することにより求め、撮像素子の電気量が所定値未満の場合は、撮像板上の目標物像領域を4象限に分割し、分割された各領域に存在する撮像素子に蓄積した電気量の総和を求め、その求められた各電気量の総和の変動量に、目標物像の光強度分布に依存する感度係数を乗じて得られる光量中心位置の演算を行うことにより求めるものである。

【0018】

【発明の実施の形態】

実施の形態1. 実施の形態1は、目標物像が撮像板上に結像し、重心を演算する際に寄与するCCD画素は、全画素の一部に限定されることに着目して、CCD画素に蓄積した電気量用の読み出しを実行する領域を必要最小限に設定するものである。以下、この発明の実施の形態を図について説明する。図1において、7は読み出し領域設定回路で、その他の構成は図4の従来技術の構成に同じである。

【0019】次に、動作について説明する。従来技術と同様に、1画面分の画像情報である目標物像のCCD画素に蓄積した電気量は演算回路6に入力され、演算回路6は所定の演算によって、目標物像の位置情報として重心位置(X_c, Y_c)を求める。この実施の形態では演算回路6は、さらに、目標物像の寸法情報として、例えば、rms (root mean square) 半径aを演算する。

$$X_g = \frac{\sum I_{ij} \cdot X_{ij}}{\sum I_{ij}} \quad Y_g = \frac{\sum I_{ij} \cdot Y_{ij}}{\sum I_{ij}}$$

ここで、

I_{ij} : 画素ijの光量

X_{ij}, Y_{ij} : 画素ijの座標位置

【0024】また、目標物像のrms半径aは、次式で求まる。

$$a^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2$$

ここで、

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum I_{ij} \cdot X_{ij}^2}{\sum I_{ij}} - X_g^2$$

である。

【0026】演算回路6は、追尾誤差($\Delta X, \Delta Y$)として、上記演算された目標物像の重心位置(X_c, Y_c)と前回演算結果である重心位置(X_0, Y_0)との差分を求める。

$$\Delta X = X_c - X_0 \quad \Delta Y = Y_c - Y_0$$

さらに、演算回路6は、追尾制御系との整合性を考慮して、追尾誤差を角度(制御角)情報($\Delta \theta_x, \Delta \theta_y$)に換算して出力されるのが一般である。

$$\Delta \theta_x = \Delta X / f \quad \Delta \theta_y = \Delta Y / f$$

ここで、fは、光学系2の焦点距離である。

【0027】演算回路6は、上記演算結果である追尾誤差信号(角度情報)を光学望遠鏡システム等の追尾制御駆動装置に出力すると同時に、追尾誤差($\Delta X, \Delta Y$)

【0020】なお、目標物像の演算範囲を定める際、閾値を設け、読み出した電気量がその閾値以下のCCD画素は、目標物像外として重心位置あるいはrms半径の演算に使用しない。

【0021】ここで、目標物像の重心とは、物体の重心と類似関係にあり、各CCD画素に蓄積した電気量を加重量とし、ある点から各CCD画素位置までの方向性を維持した距離(ベクトル値)との積の総和を求めたときに、その総和が全ての方向に対しゼロとなる点で定義される。

【0022】なお、重心の求め方自身は、数学的問題でもあり、また、各種の方法が一般的に知られるものがあるが、座標系を直交二次元座標としたとき、目標物像の重心位置(X_c, Y_c)は次式によって求められる。

【0023】

【数1】

【0025】

【数2】

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum I_{ij} \cdot Y_{ij}^2}{\sum I_{ij}} - Y_g^2$$

とrms半径値aとを読み出し領域設定回路7に出力する。

【0028】読み出し領域設定回路7では、追尾目標物の移動量あるいは目標物像の形状、光量分布等を勘案して、重心位置(X_c, Y_c)を中心に、rms半径aの、例えば4倍の領域を読み出し領域と設定し、撮像制御駆動回路4に読み出し開始点($X_c - 2a, Y_c - 2a$)と読み出し幅4aを指定する。なお、上記の読み出し領域設定回路7から撮像制御駆動回路4への読み出し領域の指定方法は単なる例示である。

【0029】ここで、目標物像の寸法情報としては、目標物の形状、あるいは移動量等により、円弧の他、楕円、あるいは方形等としても良いが、一般的には、撮像

板3の画素の配列に整合性の良いものが選択される。

【0030】また、読み出し領域設定回路7では、読み出し領域の大きさを決定する際、目標物像の寸法、形状、移動量あるいは光量の光強度分布データを総合的に考慮しても良い。この場合には、目標物像の光量等は、演算回路6で演算され、読み出し領域設定回路7に送られる。

【0031】さらに、その他の読み出し領域設定に必要な情報は、演算回路6、読み出し領域設定回路7あるいはその他にデータベース化しておくことも可能である。

【0032】図2はこの実施の形態における撮像板3の読み出し動作を示す図である。図において、9のハッチングされた部分は撮像板3上に結像した目標物像、10は撮像板3の電気量転送手段であるシリアルレジスタで、撮像板3上の画素に蓄積された電気量を、ここでは、水平1列単位で、並列に転送可能であり、転送された後、1画素分毎に、増幅器5に直列転送されるものである。3a、3b、3c、3d、3eは、撮像板3の画面を分割したもので、3cが読み出し領域設定回路7で設定された読み出し領域、その他は読み出し不要の領域である。3cの読み出し領域をメッシュ状に分割されている一マスが、CCD画素に相当する。

【0033】まず、3aの読み出し不要領域では、CCD画素に蓄積された電気量はシリアルレジスタ10に、1垂直ライン単位で高速垂直並列転送され、さらに、シリアルレジスタ10より、1画素単位で、高速水平転送されて、読み捨てられる。

【0034】3b～3dの領域は、シリアルレジスタ10に、1垂直ライン単位で低速垂直並列転送され、読み出し不要領域の3b、3dのCCD画素は高速水平転送されてシリアルレジスタ10より読み捨てられる。読み出し領域である3cのCCD画素は、1画素単位で低速水平転送され、増幅器5に出力される。3eの読み出し不要領域では3aと同じく、高速垂直並列転送および高速水平直列転送されて、読み捨てられる。以上の通り、読み出し領域3cのみを、読み出し雑音の少ない、低速水平転送することになるので、撮像板3の1画面分の読み取りに必要な時間は少なくて済み、かつ、読み出された目標物像の電気量に含まれる雑音成分を小さくできる。

【0035】なお、撮像板3上の各CCD画素は蓄積された電気量をシリアルレジスタ10に垂直並列転送された時点に、初期化されて次の撮像期間にはいる。

【0036】撮像板3上の読み出し領域3cの各CCD画素に蓄積された電気量は、上記の動作により、増幅器5を経由して演算回路6に入力される。演算回路6では、閾値以上の電気量の蓄積が有ったCCD画素の位置情報により、目標物像を確定し、その各画素がもつ電気量を加重量とし、重心位置を算出する。前回演算した重心位置と比較し、その変位量を、目標物の追尾誤差信号

として、演算回路6から、望遠鏡システムの追尾制御系に出力される。なお、演算回路6は、有意な画素の、位置情報を撮像板3より画像データとともに送られてくるイネーブル信号により認識でき、演算対象となる画像データを上記領域に限定することができるので、演算に必要なとする時間も削減でき、演算出力の応答性が良くなる。

【0037】実施の形態2。実施の形態2では、実施の形態1で示した撮像板3の読み出し領域を設定することに加え、複数画素を結合して、それを読み出しあるいは演算の単位となる1画素とみなす、いわゆるビニング動作について説明する。図3において、11は撮像板3を構成するCCD画素の1個分を示し、3c1～3c4は、各々CCD画素を4個ビニング（結合）したものである。本実施の形態では、以降の画像処理は、このビニング後の4個のCCD画素を一つの画素として行う。その他は図2と同様であるなお、本実施の形態では、画素の配列の垂直方向、水平方向各々2個のCCD画素を結合した2×2ビニングの例である。また、ビニングするCCD画素数は、目標物像の大きさ、光量、雑音レベルおよび演算方法により適宜、任意に設定される。

【0038】動作について説明すると、まず、3aの読み出し不要領域では、CCD画素に蓄積された電気量はシリアルレジスタ10に、1垂直ライン単位で高速垂直並列転送され、さらに、シリアルレジスタ10より、1画素単位で、高速水平転送されて、読み捨てられる。

【0039】3b～3dの領域は、シリアルレジスタ10に、2垂直ライン単位で低速垂直並列転送され、読み出し不要領域の3b、3dの画素は高速水平転送されてシリアルレジスタ10より読み捨てられる。読み出し領域である3cのCCD画素は、4画素単位で低速水平転送され、増幅器5に出力される。3eの読み出し不要領域では3aと同じく、高速垂直並列転送および高速水平直列転送されて、読み捨てられる。

【0040】なお、読み出し領域設定については、CCD画素をビニングしても、実施の形態1と同様の設定、即ち目標物像に対して、目標物の変位や寸法変動を予測して、十分な結像が得られる読み出し領域を設定する。また、撮像板3上の各CCD画素に蓄積された電気量は、シリアルレジスタ10に2垂直ライン単位で垂直並列転送された時点に、初期化されて次の撮像期間にはいる。これらの、撮像板3のCCD画素に対するビニング機能は、撮像板3のシリアルレジスタ10等の電気量転送機構が有し、撮像制御駆動回路4から撮像板3へ送られる制御パルスにより容易に制御出来る。

【0041】また、CCD画素の電気量読み出し以降の、増幅、演算動作は、上記4個のCCD画素を1画素とみなすこと以外は、実施の形態1と同様になる。

【0042】以上のように、撮像板3のビニング機能を使うと、CCD画素に蓄積した電気量の、水平直列転送

する回数が、垂直ビニング数分減るので、実施の形態1に比べてより高速な読み出しが実現できる。

【0043】さらに、演算回路6の処理もビニングにより演算するデータ数が減少しているのもより短時間に出来る。

【0044】次に、ビニング処理と読み出し雑音の関係を説明する。まずビニング処理を採用することにより、実施の形態1に比べて、撮像板3のCCD画素転送動作をビニング数分低速に出来るため、読み出し雑音は、減少する。

【0045】さらに、複数のCCD画素を結合する際、各画素の信号成分は単純加算されるのに対し、各CCD画素に含まれる読み出し雑音成分は、画素毎の相関がないので、単純に加算されるのではなく、雑音成分の位相関係によっては減算されるものも出てくるので、読み出される電気量の S/N は、実施の形態1に比べて改善する。

【0046】以上のビニング時の雑音の説明の通り、CCD画素をビニングすることにより、目標物の光量や、演算対象によって条件が変わるが、目標物の変位をより精度良く演算することが可能となる。

【0047】実施の形態3。以上の実施の形態では、目標物像の変位は、演算回路6で、撮像板3のCCD画素に蓄積した電気量データに基づき、重心位置を演算することにより求めていたが、この実施の形態では、重心位置の代わりに光量中心位置を演算する例を示す。

【0048】光量中心位置演算の場合は、図3に示すよ

$$\Delta X = R \cdot \{ (I_1 + I_4) - (I_2 + I_3) \} / (I_1 + I_2 + I_3 + I_4)$$

$$\Delta Y = R \cdot \{ (I_1 + I_2) - (I_3 + I_4) \} / (I_1 + I_2 + I_3 + I_4)$$

ここで、 R は先ほど求めた感度である。

【0053】但し、一般には、演算回路6の最終出力形態は、実施の形態1で示したように、出力先の光学望遠鏡の追尾制御系との親和性を考えて、角度（制御角）量に変換される。この追尾誤差信号により追尾制御系を動作させ、目標物像を常に撮像板3の所定位置に結像させるので、データ量も少なく、演算量も少ないので、光量中心を演算する時間は、重心法に比べて大幅に少なくて済む。

【0054】この光量中心を演算する方法を採る場合、本実施の形態の例では、ビニング後の読み出す画素は4画素で済み、目標物像の光量が少なく、読み出し雑音が支配的な場合には、読み出し雑音量を抑圧できるので、重心演算よりも精度の良い追尾誤差信号が得られる。

【0055】なお、光量中心をCCD画素を4画素にビニングするとして説明したが、目標物像が小さく、4CCD画素に結像するときは、ビニングする必要がないことはいうまでもない。即ち、ビニングと光量中心は独立の関係にある。

【0056】実施の形態4。一般に追尾対象となる目標物は、光量に応じて、様々な雑音特性を持つため、撮像

うに、ビニング後の画素サイズを、目標物像の半分強の大きさになるように設定し、目標物像の寸法変動と追尾誤差（位置変位）を考慮して、ビニング後の画素4個の領域内に、目標物像が結像するように設定する。また、目標物像の光量中心は、常に4個のビニング後の画素で構成される撮像領域の中心（2次元直交座標の原点）に来るように、光学望遠鏡の追尾制御系が、演算回路6の追尾誤差信号により、追尾制御されているものとする。

【0049】まず、演算回路6は、ある目標物に対する観測（追尾）運用を初期設定として、ビニング前の、高分解能の目標物像から重心点と rms 半径 a を実施の形態1に示したように求める。

【0050】次に、感度 R を求める、これは目標物像の光強度分布に依存するが、一般に目標物像が点に近い微小目標の場合、光強度分布をガウシアン分布で近似することができ、感度 R は、次式で求まる。

$$R = \sqrt{(\pi)} \cdot a / 2$$

【0051】感度とは、光量中心演算に際し、使用される係数で、検出されたCCD画素の配列の垂直方向、水平方向それぞれに、読み出された目標物像の光量（電気量）の、目標物像の変位に伴う変動量を、目標物像の変位量、即ち追尾誤差に換算するものである。なお、感度 R は運用中に、校正することも可能である。

【0052】目標物追尾の運用にはいると、演算回路6は、ビニング後のCCD画素3c1～3c4に蓄積された電気量 $I_1 \sim I_4$ を読みとると、次式に示す演算を行い、目標物像の変位量（ ΔX , ΔY ）を求める。

板3上のCCD画素に蓄積された電気量を、演算回路6が演算して追尾誤差を求める際、その雑音特性に応じた適切な演算法を採用しないと、精度良い追尾誤差が得られない場合がある。

【0057】まず、概念的に、目標物像の光量と追尾誤差の演算方法に対応する追尾誤差の精度との関係を説明する。目標物像の光量が小さいときには、CCD画素から読み出し雑音が支配的であり、特に、高速で読み出す場合に顕著になるが、この読み出し雑音は、CCD画素に蓄積した光量に依存せず、重心法では、光量のより乏しい、目標物像の周辺部分の光量データが重心点付近より距離が大であるため、光量×距離（方向ベクトル量）の演算を行うと、雑音の影響が大きく出ることになる。従って、目標物の光量の少ない場合には、重心法は適さない。

【0058】目標物像の光量が多いときには、雑音成分としては、読み出し雑音より入射光ショット雑音が支配的になる。入射光ショット雑音とは、主に大気散乱、屈折率の変化（ゆらぎ）により目標物像の全面にわたって、その目標物像構成の各微小部分がランダムに光強度が変化するもので、目標物像の光量の多い中心部分の入

射光ショット雑音の方が周辺より強いので、相対的に周辺部分の画素の電気量の重み付けが少ない重心法が適しており、逆に、光量中心法では目標物像の中心部と周辺部で同じ重み付けであるので、重心法に比べ、入射光ショット雑音の影響が大きく、精度の良い追尾誤差が得られない。なお、入射光ショット雑音に対しては、ビニングしても雑音特性の改善とはならず、この点においても光量中心法では精度の改善に繋がらない。

【0059】目標物像の光量に応じて、一般的に、上記のような雑音特性を有するので、この特性データを予め収集し、データベースとして、演算回路6がアクセス可能なように、記憶回路に格納しておく、演算回路6は、

$$\left(\frac{\Delta rg}{a}\right)^2 = \frac{1}{I_0} + \frac{Ng^2(Ng+1) \cdot (Ng-1)}{6} \left(\frac{X}{a}\right)^2 \left(\frac{i_{no}}{I_0}\right)^2$$

【0062】一方、光量中心位置の持つ誤差は次式で表される。

$$\left(\frac{\Delta rb}{a}\right)^2 = \frac{\pi}{2} \left[\frac{1}{I_0} + Nb^2 \frac{i_{no}^2}{I_0} \right]$$

【0064】ここで、

Δrg 、 Δrb ：得られた位置情報が持つ誤差

a ：目標物像のrms半径

X ：画素寸法（ビニング実施の場合は、ビニング後の画素）

Ng 、 Nb ：演算領域の一次元画素数

I_0 ：総光量（電子数換算）

i_{no} ：読み出し雑音量（電子数換算）

簡単のため目標物像は、等方的とし、 X 方向、 Y 方向とも領域数 N は同一とする。

【0065】上記2式において、第1項は入射光量に依存性のあるショット雑音項で、第2項は読み出し雑音など、入射光量に依存しない雑音項である。

【0066】さらに、第2項の読み出し雑音量は $i_{no}^2 = i_{r0}^2 + i_{ad}^2 + i_d$ で表され、ここで、

i_{r0} ：読み出し雑音

i_{ad} ：量子化（A/D変換）誤差

i_d ：暗電流（ $\sqrt{i_d}$ が暗電流ショット雑音）

$$I_0 > \frac{2}{\pi \cdot 2} \cdot \left[\frac{Ng^2(Ng+1) \cdot (Ng-1)}{6} \left(\frac{X}{a}\right)^2 - \frac{\pi}{2} Nb^2 \right] \cdot i_{no}^2$$

【0070】これによると、光量が多いときには重心法を用い、光量が少ないときは光量中心法を使用することにより、目標物像の位置情報の精度が上がることになる。

【0071】さらに、この演算法を自動的に選択する手

追尾運用を開始時に、目標物像の、CCD画素に蓄積された光量を撮像板3から読み出し、その光量とこの特性データを参照して、最も追尾誤差の精度の上がる演算法を決定し、以降の追尾運用にその結果を使う。

【0060】次に、光量（実際には電気量として検出される）の持つ雑音と、目標物像の位置情報を重心法あるいは光量中心法により求める場合の、演算値が有する誤差との関係を詳述する。目標物像の光強度分布をガウシアンとすると、重心法で求める重心位置の持つ誤差は次式により表される。

【0061】

【数3】

【0063】

【数4】

【0067】以上より上記2式の第1項である光ショット雑音が支配的な時には、光量中心法の誤差は重心法に対して $\sqrt{(\pi/2)}$ 倍大きく、重心法が優る。一方、第2項の読み出し雑音などが支配的なときには、演算領域 Ng 、 Nb に依存する。従って、重心法で、例えば、演算領域を半値幅の2倍とすると、

$$\Delta rg/a = 5.27 i_{no}/I_0$$

光量中心法で、例えば、演算領域を4分割にすると（ $Nb=2$ ）、

$$\Delta rb/a = 2.51 i_{no}/I_0 \text{ となり}$$

光量中心法による誤差は、重心法に比べて約1/2に抑えられる。

【0068】重心法あるいは光量中心法の演算結果が持つ、雑音による誤差成分は、上記2式の通りであるので、重心法が優れる条件は、次の不等式にまとめられる。

【0069】

【数5】

順としては次の通りとなる。目標物像を捕捉した初期画面において、重心位置とrms半径 a を演算し、CCD上の読み取り領域を設定する。同時にrms半径 a よりビニングサイズを決定する。例えば、重心法では $Ng=4$ 、光量中心法では $Nb=2$ （4分割）とする。読み出

し雑音量 i_{n0} は予め当該追尾誤差検出装置のデータを入力しておく。次いで、捕捉初期画面の各画素出力を積分して総光量（実際は総電気量） I_0 を求め、予め測定しておく、ゲイン（光量と電子数の関係）から、これを電子数に換算して上記不等式より、誤差の少ない演算法を選択する。この実施の形態により、光量の異なる多様な目標物に対する、運用が可能となる。

【0072】以上の実施の形態では、天体望遠鏡の例で説明したが、本発明の追尾誤差検出装置はこれに留まるものでなく、目標物を追尾する装置の追尾制御系に供される光学的（含む赤外線、X線）追尾誤差検出装置一般に適用できるものである。

【0073】

【発明の効果】第1の発明に係わる追尾誤差検出装置は、読み出された電気量を基に、所定の演算を行うことにより、目標物像の撮像板上の位置情報と寸法情報を出力する演算回路と、その演算回路の出力情報に基づき、電気量を読み出す領域を設定する読み出し領域設定回路とを備えているので、読み出し雑音の影響の少なく、精度の良い追尾誤差信号を応答性良く出力出来る。

【0074】第2の発明に係わる追尾誤差検出装置は、第1の発明において、電気量を読み出す際、垂直方向あるいは水平方向に隣接した複数の撮像素子を結合して、一つの撮像素子として動作させているので、特に目標物の光量が少ないときに、読み出し雑音の影響の少なく、精度の良い追尾誤差信号を応答性良く出力できる。

【0075】第3の発明に係わる追尾誤差検出回路は、第1または第2の発明において、演算出力する目標物像の位置情報を、電気量を加重量とした重心位置を演算することにより求めているので、特に光量の多いとき、読み出し雑音の影響の少なく精度の良い追尾誤差信号を応

答性良く出力出来る。

【0076】第4の発明に係わる追尾誤差検出回路は、第1または第2の発明において、演算出力する目標物像の位置情報を、光量中心位置を演算することにより求めているので、特に目標物の光量が少ないときに、読み出し雑音の影響の少なく精度の良い追尾誤差信号を応答性良く出力できる。

【0077】第5の発明に係わる追尾誤差検出回路は、第1または第2の発明において、演算出力する目標物像の位置情報を、撮像素子の電気量が所定値以上の場合には、重心位置を演算することにより求め、撮像素子の電気量が所定値未満の場合には、光量中心位置の演算を行うことにより求めているので、目標物の光量に応じて、読み出し雑音の影響の少なく精度の良い追尾誤差信号を応答性良く出力できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の一実施の形態における追尾誤差検出装置を示すブロック図である。

【図2】 この発明の一実施の形態における撮像板のCCD画素の読み出し制御を示す動作説明図である。

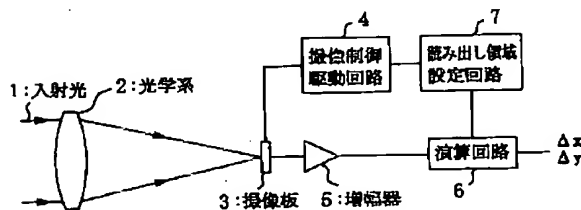
【図3】 この発明の実施の形態2および実施の形態3における撮像板のCCD画素の読み出し制御を示す動作説明図である。

【図4】 従来の追尾誤差検出装置を示すブロック図である。

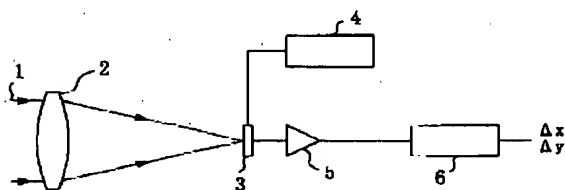
【符号の説明】

1 入射光、2 光学系、3 撮像板、4 撮像制御駆動回路、5 増幅器、6 演算回路、7 読み出し領域設定回路、10 シリアルレジスタ、11 CCD画素。

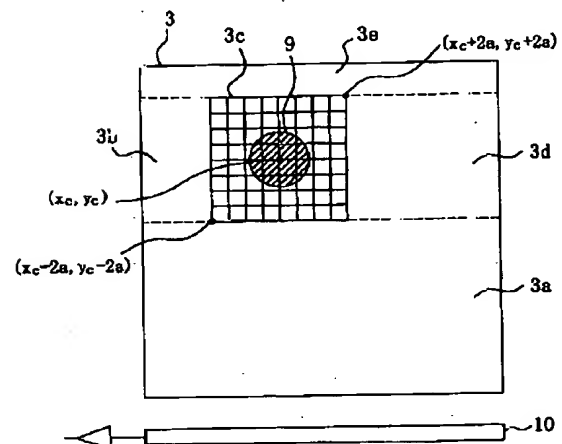
【図1】



【図4】



【図2】



【図3】

